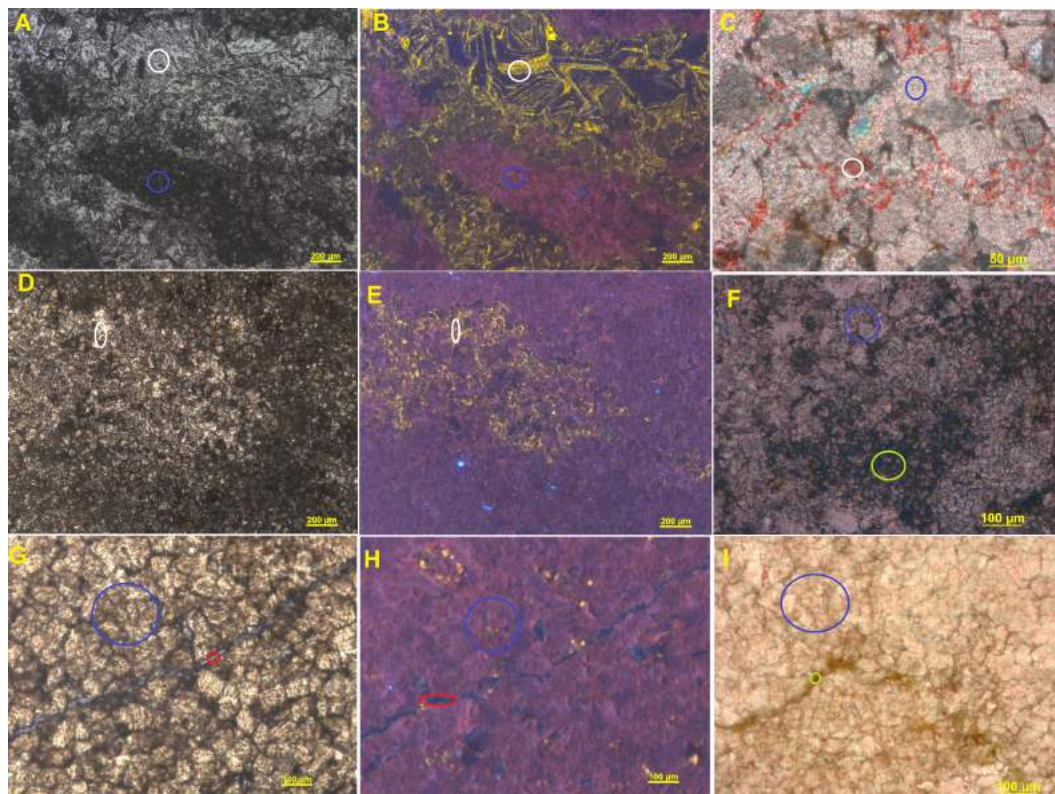


Figura 72 - Micrografia das lâminas CD6, CD7 e CD8 (plugue FAR6) – trombolito



Legenda: Amostra dolomitizada, com aspecto grumoso dado por porções escuras constituídas por dolomita e porções claras constituídas por calcita (A,D); (C) dolomitização acentuada, podendo-se ver ainda vestígios da origem calcítica; (B, E, H) são imagens de catodoluminescência correspondente a (A,D,G); (C,F,I) são lâminas tingidas por alizarina. As cores dos círculos correspondem: branco=calcita; azul=dolomita; verde=resíduo insolúvel/matéria orgânica; vermelho=porosidade aberta. Micrografias com luz plana. CD6 (A-C), CD7 (D-F) e CD8 (G-I).

Fonte: A autora, 2018.

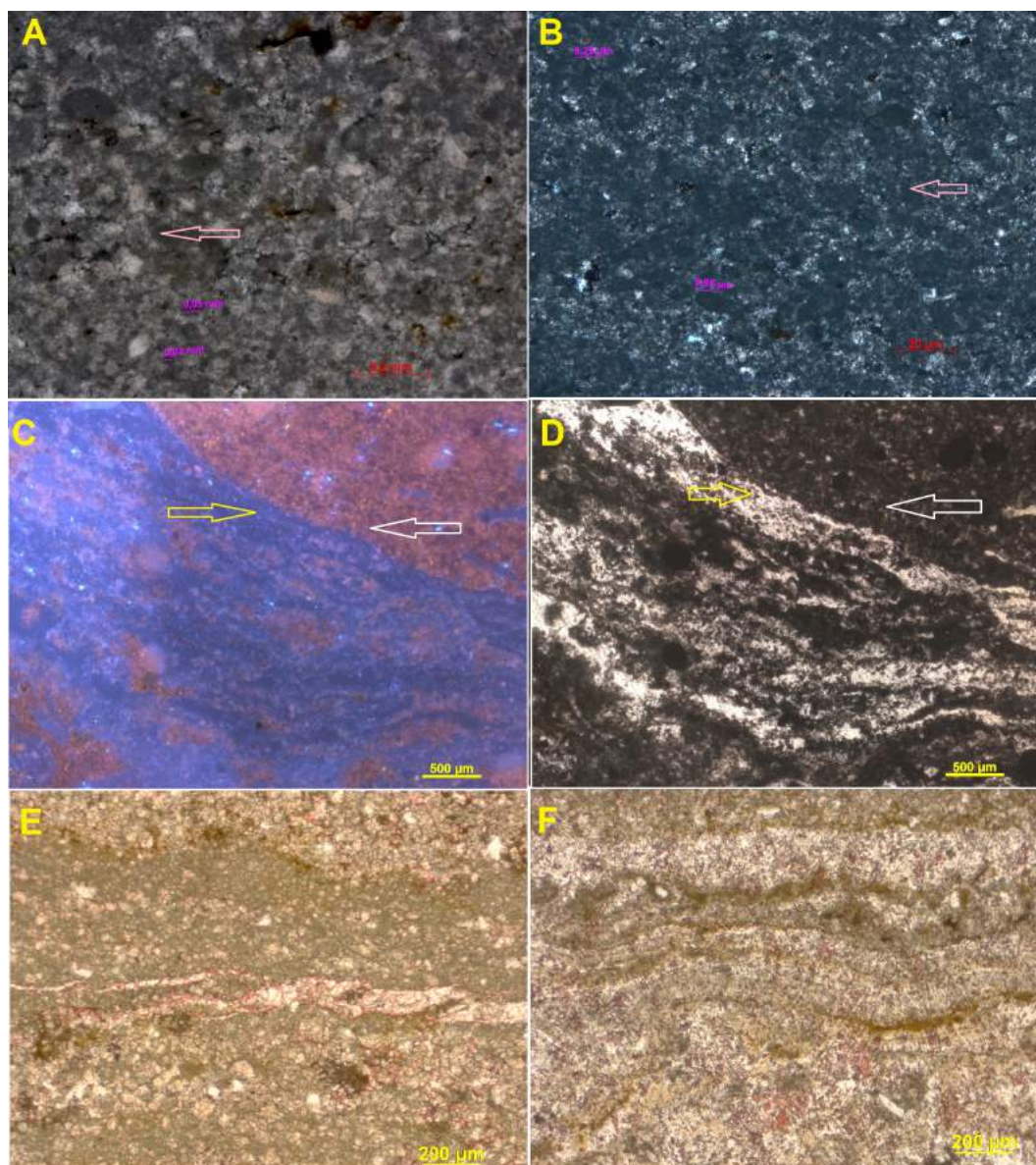
8.3.2.4 Plugue FAR7 – paleocanal

O estudo petrográfico das lâminas CD9 e CD10, feitas no plugue FAR7, retirado de um paleocanal entre as cabeças estromatolíticas, mostra uma microestrutura acamadada, com intercalações de lâminas clara e escuras com micropeloides muito semelhantes àqueles descritos por Chafetz (1986) para depósitos marinhos cenozoicos, quanto por Chafetz e Folk (1984), que estudavam o acúmulo de clastos caracterizados por um aglomerado de bactérias envolto em uma capa calcítica, em travertinos. Os micropeloides encontrados nessas amostras são em geral esferoidais a elípticos com tamanhos variados, porém não estão envoltos em calcita, como aqueles descritos pelos autores aqui citados (Figura 73). Essas lâminas petrográficas, exibem a presença de estromatólitos milimétricos, com cerca de 6 mm, formando biohermas (unidos lateralmente). Em campo, esses estromatólitos são colunares, fosfatados e de dimensões centimétricos, ocorrendo na área de estudo nas bordas dos grandes domos estromatolíticos característicos da Fazenda Arrecife.

A lâmina petrográfica CD10, feita na base do plugue, retrata uma fácies um pouco diferente em sua parte inferior, caracterizada por laminações bastante irregulares, com crostas calcíticas formando estruturas submilimétricas com relevo que podem refletir a presença de estromatólitos colunares centimétricos (cerca de 5 cm de altura), que são observados em geral nas bordas dos estromatólitos colunares que formam domos de grandes dimensões. Há uma fase de silicificação dessas estruturas posterior à dolomitização, assim como a presença de cristais de quartzo detrítico e feldspatos, ambos angulosos (Figura 74). Em imagens de catodoluminescência, observou-se que há uma alternância no potencial redox durante a precipitação da crosta calcítica, sendo mais comum o ambiente oxidante, evidenciado pela ausência de luminescência. Algumas lamínulas, com luminescência maior (em tons castanho claro), indicam alternância para ambiente mais redutor.

Para maior detalhamento sobre as relações entre as fases minerais, procedeu-se nessa amostra à análise de MEV em seção polida no modo elétrons retroespalhados que revelou a presença dominante de dolomita, com muitos microporos e, secundariamente, de um aluminossilicato de potássio que por vezes ocorre no espaço entre os cristais de dolomita. A Figura 75 mostra o aspecto microlaminado dado por intercalações de lâminas claras e escuras. Essas lâminas claras são formadas por acúmulo de silicatos, conforme se vê nas fotomicrografias MEV B, C, D e E da Figura 75. Além dessas fases minerais, são encontrados também quartzo, carbonato-fluorapatita, óxido de ferro e traços de titânio. Essa amostra apresenta importante fase microporosa associada principalmente à dolomita, tanto intra como intercrystalina. Os poros intracrystalinos, que são sugestivos de moldes de microrganismos, são frequentemente alargados por dissolução posterior, assim como aqueles entre os cristais (Figura 76). A Figura 77 apresenta a identificação das fases minerais. Com microtomografia de raios-X, pôde-se segmentar as fases constituintes da amostra usando-se o método de limiarização de tons de cinza,

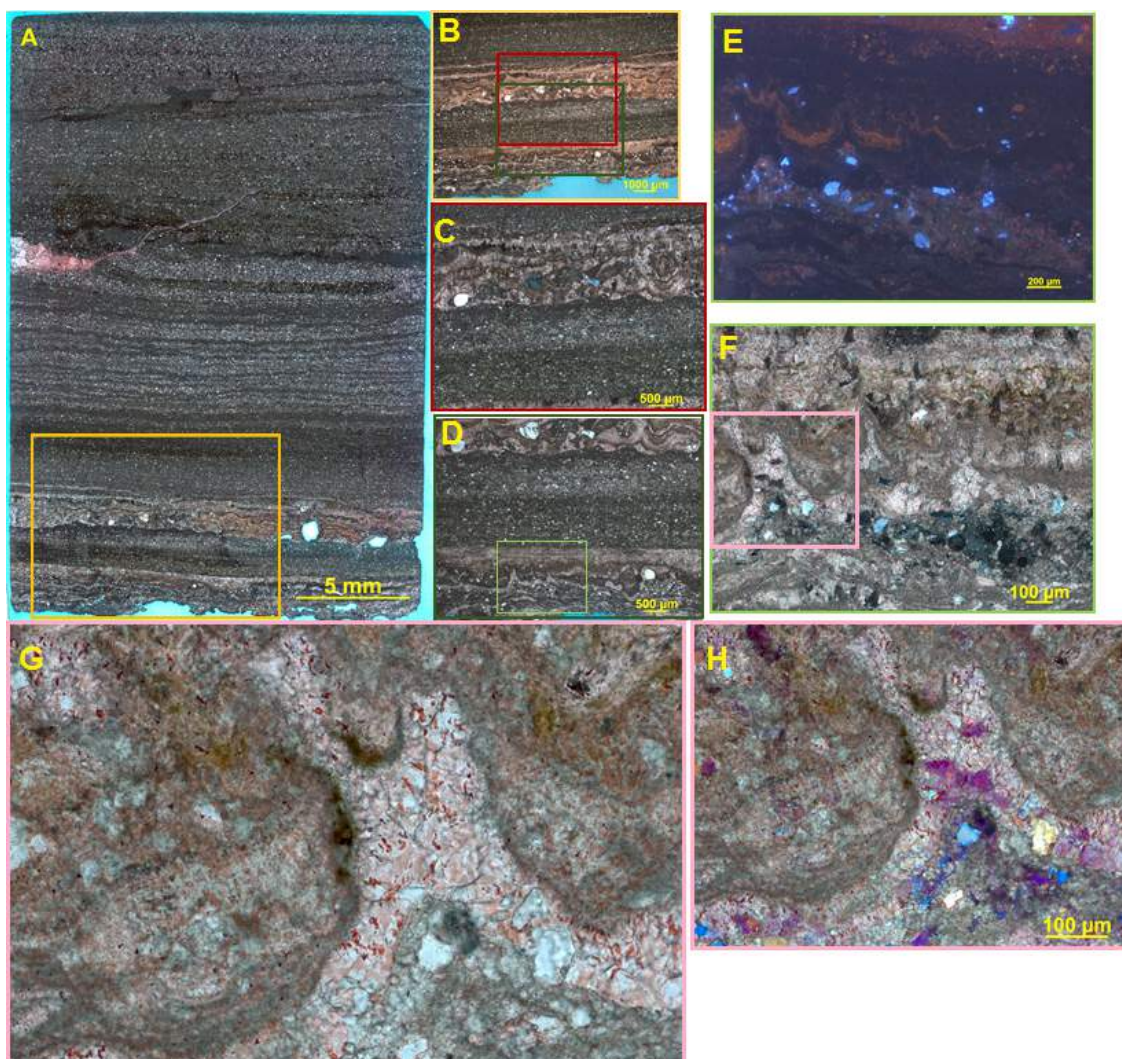
Figura 73 - Petrografia das lâminas CD9 e CD10 – topo e base do plugue FAR7 – canais entre cabeças estromatolíticas



Legenda: (A-D) Lâmina petrográfica CD9; (A-B) Aspecto microtextural peloidal (seta rosa) dos constituintes das camadas mais escuras; (C-D) Topo do plugue onde se verifica presença de fluorapatita (seta amarela) em meio a dolomitas (seta branca); (E-F) Fotomicrografias da lâmina CD10, tingida por alizarina, exibindo estrutura acamadada, microscopicamente constituída por intercalações de lâminas dolomitizadas com granulometrias diferentes, sendo possível perceber a origem calcífica, com cor avermelhada (E). Níveis finos com material insolúvel (cor marron) são comuns. Fotomicrografias A, D, E e F com luz plana; B, com luz polarizada; C, catodoluminescência.

Fonte: A autora, 2018.

Figura 74 - Petrografia da lâmina CD10 – base do plugue FAR7 – entre cabeças



Legenda: (A) Varredura da lâmina delgada CD10 mostrando rocha finamente laminada, com crostas calcínicas na parte inferior. (B) Área destacada em A (amarelo); (C-D) Áreas destacadas em B (grená e verde); (E-F) Área destacada pelo retângulo verde-claro em (D) mostrando rocha dolomitizada com crostas calcínicas com CL (em E) e com PX (em F). Predomina ambiente oxidante na precipitação de calcita; (G-H) Área destacada em F pelo retângulo rosa, exibindo detalhes das crostas calcínicas (cores em tons de rosa). Fotomicrografia A, B, C, D, G com PP; (F) com PX; (H) com compensador de gipso. PP = polarizadores paralelos e PX = polarizadores cruzados.

Fonte: A autora, 2018.

que significa o contraste de densidade entre as fases minerais. A fase porosa foi separada, sendo mostrada na Figura 80, onde se pode observar poros descontínuos micrométricos dispersos.

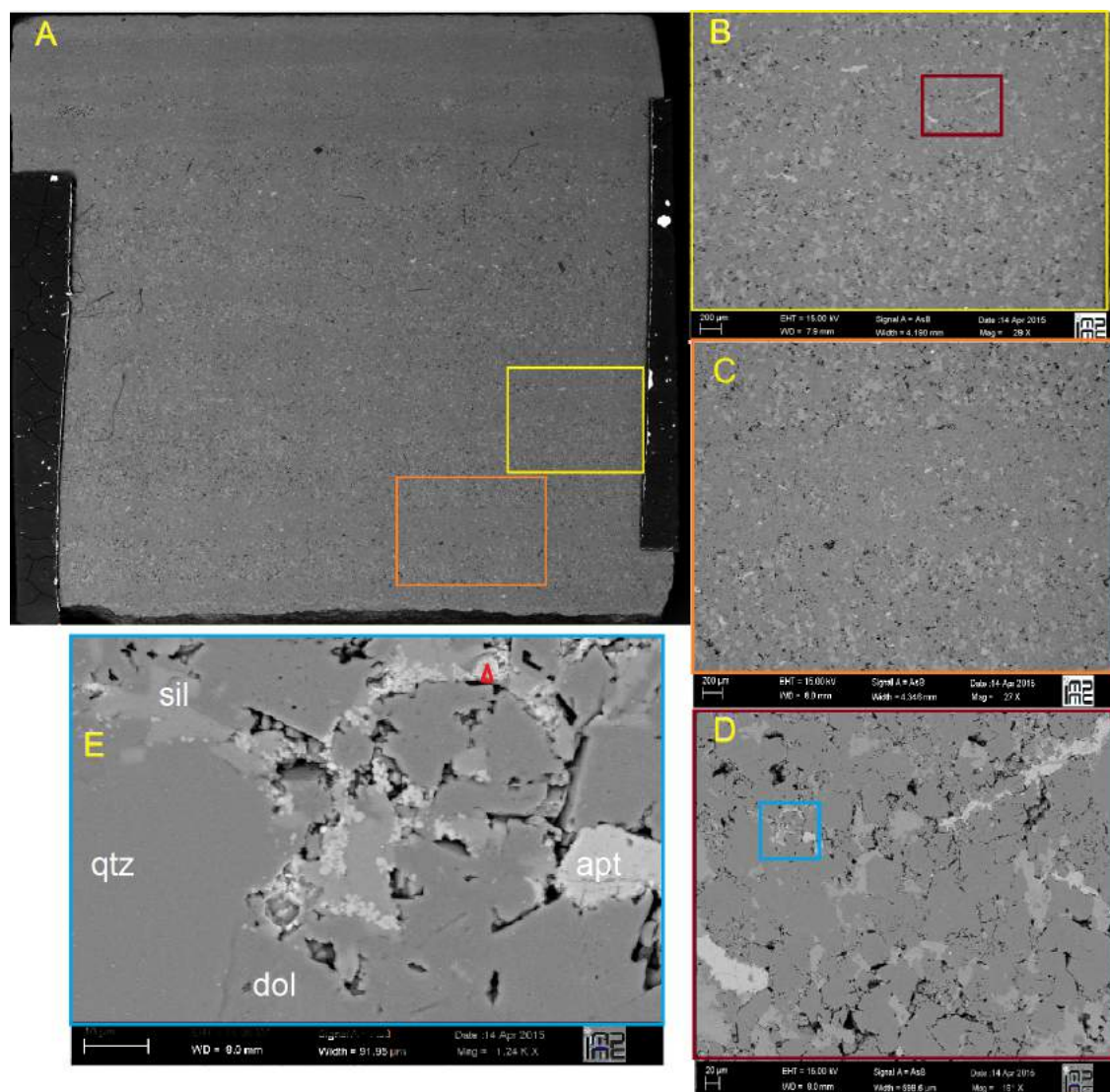
8.3.2.5 Plugue FAR10 – estromatólito

O estudo petrográfico das lâminas CD11, CD12 e CD13, referente ao plugue FAR10, retirado de uma cabeça estromatolítica, revela microfácies laminada típica de estromatólito na parte superior do plugue, correspondendo à lâmina petrográfica CD11 (Figura 81). Essa característica vai desaparecendo para a parte mediana e inferior do plugue (correspondendo às lâminas delgadas CD12 e CD13), onde as amostras apresentam laminações incipientes ou em geral estão obstruídas por zonas de dissolução com precipitação de espatito. As três lâminas mostram dolomitização da amostra, evidenciada por catodoluminescência. Na zona intermediária do plugue, exemplificada pela lâmina CD2, observa-se a predominância de zonas dolomicrocíticas (Figura 82), enquanto que na parte inferior do plugue (correspondente à lâmina petrográfica CD13), é possível ainda observar as laminações pré-existent que foram obliteradas por zonas de dissolução (Figura 83).

Observa-se porosidade acentuada ao longo de todo plugue, em geral intercrystalina. Na base do plugue, a microfácies laminada é obstruída por zona de dissolução, com notável neomorfização com cristais bem desenvolvidos de calcita (Figura 83).

Nesse plugue, a fim de se ter mais detalhe sobre a distribuição das fases minerais espacialmente, procedeu-se à análise de microtomografia de raios-X numa pequena amostra da base do plugue. A amostra possui quatro importantes fases mineralógicas: calcita, dolomita, fosfato e pirita que podem ser identificadas por esse método. Ressalta-se que a separação das fases necessita de um conhecimento prévio sobre a composição da amostra ou da confirmação por meio de alguma outra ferramenta, tal como MEV-EDS, que permita a identificação da composição química, tendo em vista que a tomografia permite a segmentação dos constituintes mineralógicos com base na calibração visual dos tons de cinza, que refletem a densidade de cada mineral, e muitas vezes é difícil distinguir tons de cinza muito próximos. Observou-se a distribuição da calcita em torno de outra fase mineral (Figura 84). A microporosidade está associada à fase dolomita conforme identificado na Figura 85. Verifica-se uma parte da amostra neomorfizada com espatito que preenche zonas de dissolução.

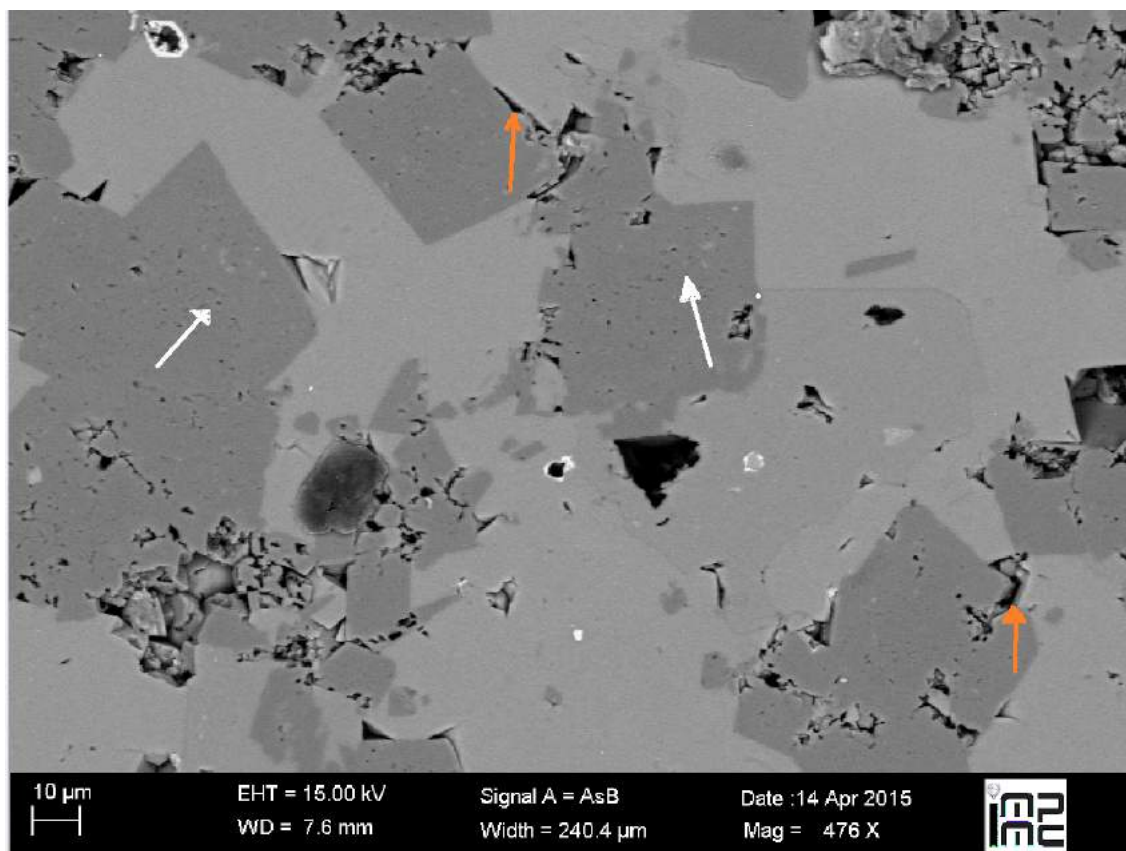
Figura 75 - Fotomicrografias de MEV da amostra CD10



Legenda: (A) Multiscan da amostra; (B) Aumento da área destacada em amarelo no multiscan; (C) Aumento da área destacado em cor de abóbora na imagem multiscan; (D) Aumento da área destacada em grená em (B); (E) Aumento da área destacada em azul em (D), onde qtz = quartzo, dol = dolomita, sil = silicato de K, apt = apatita, e o triângulo vermelho representa mineralização de óxido de ferro.

Fonte: A autora, 2018.

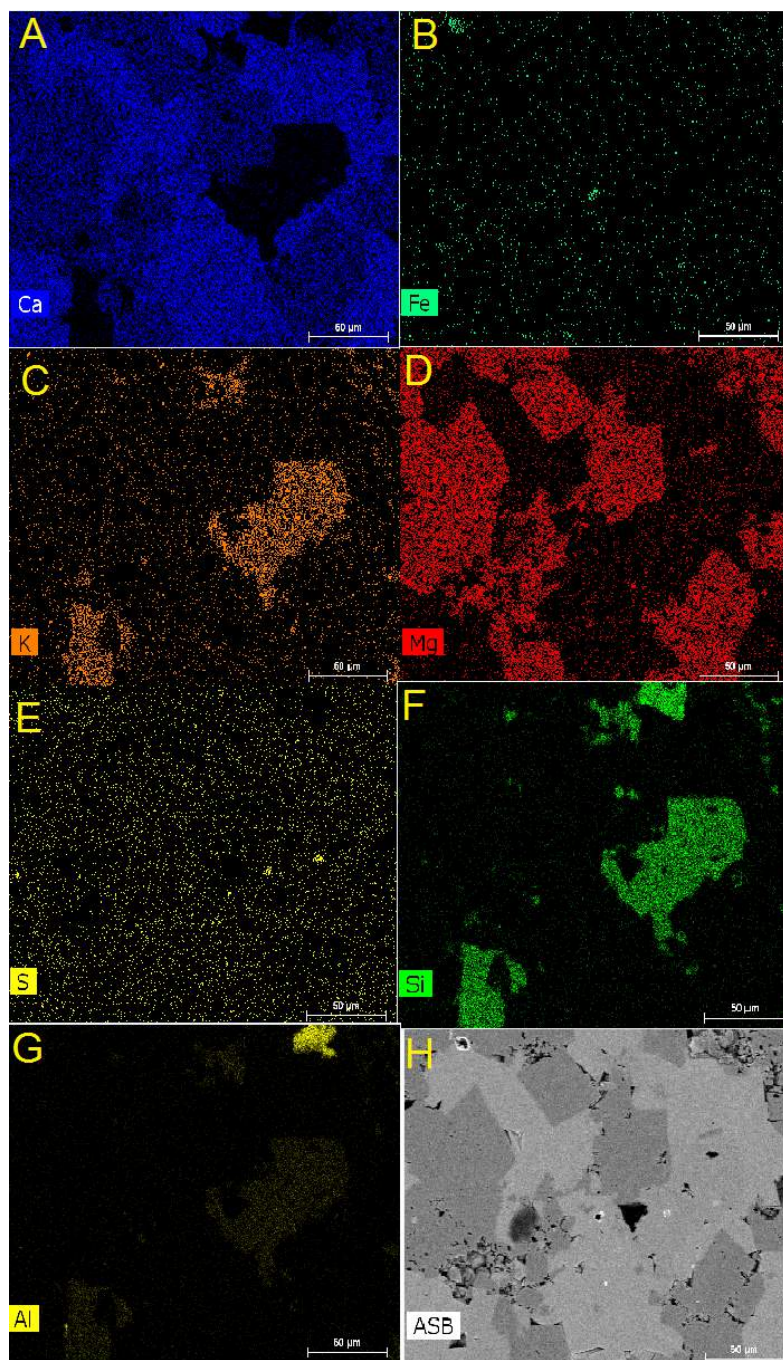
Figura 76 - Microporosidade na amostra CD10



Legenda: Identificação de microporosidade intracristalina (seta branca) e intercristalina (seta cor de abóbora) associada à fase mineral dolomita. Observar o alargamento desses poros com a dissolução entre os cristais.

Fonte: A autora, 2018.

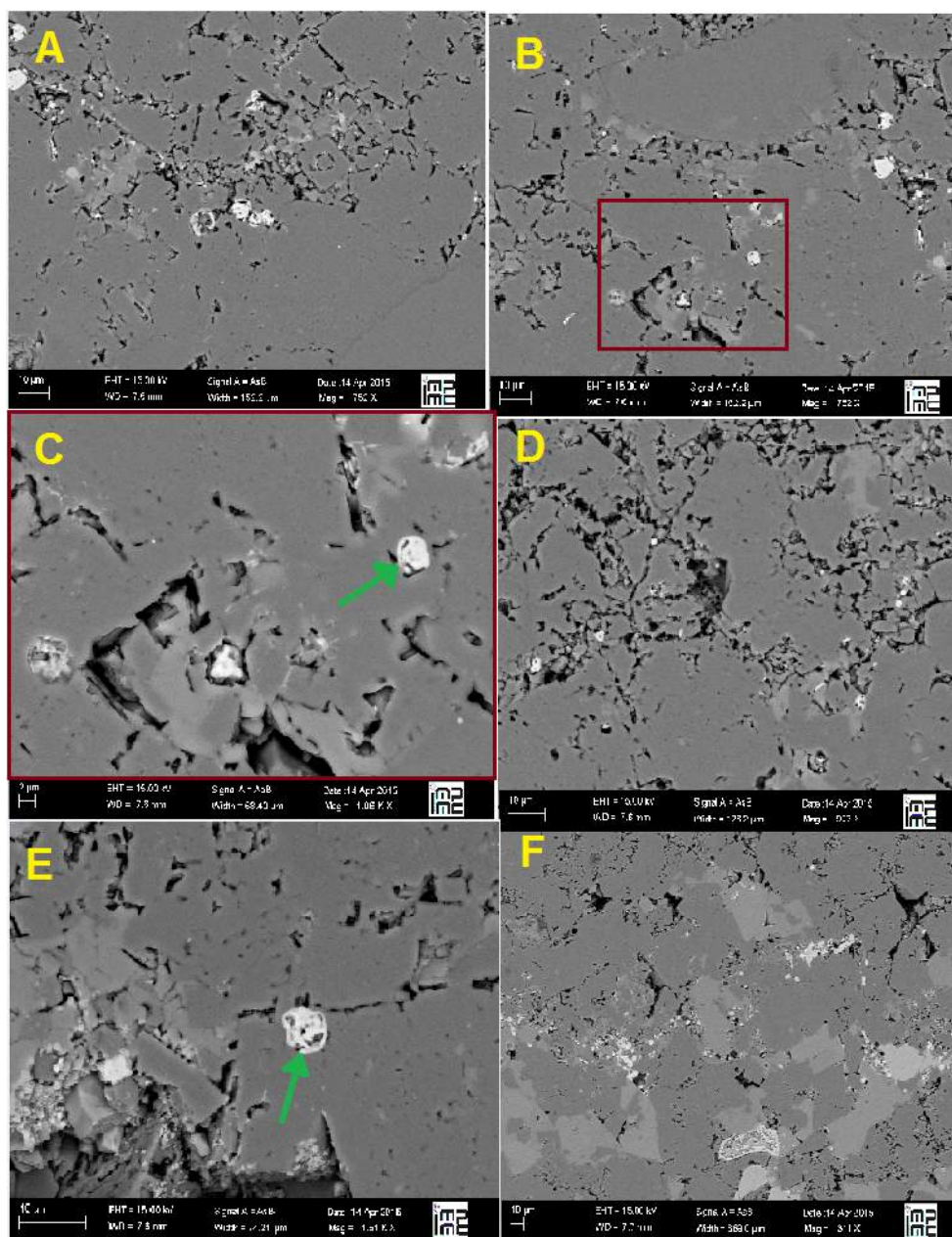
Figura 77 - Fases minerais na amostra CD10 identificadas por EDX



Legenda: Composição química da amostra CD10 por EDX correspondente à fotomicrografia de MEV exibida em (H).

Fonte: A autora, 2018.

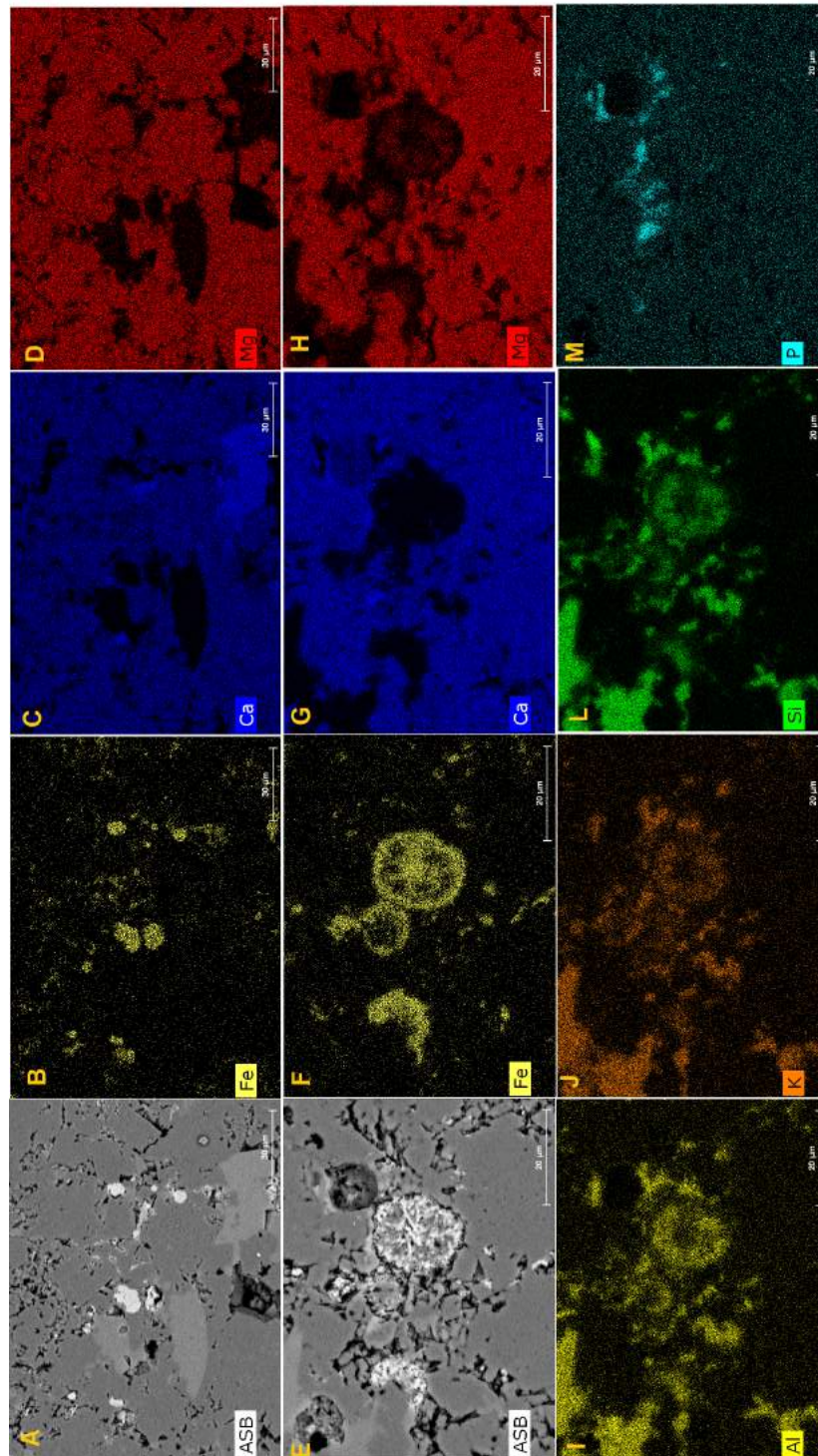
Figura 78 - Fase óxido de ferro na amostra CD10



Legenda: Fotomicrografias de MEV evidenciando a presença de óxido de ferro (branco brilhante) em geral na porosidade intercristalina, muitas vezes com aparência de rosetas (seta verde em C e E). (C) é a área destacada em (B).

Fonte: A autora, 2018.

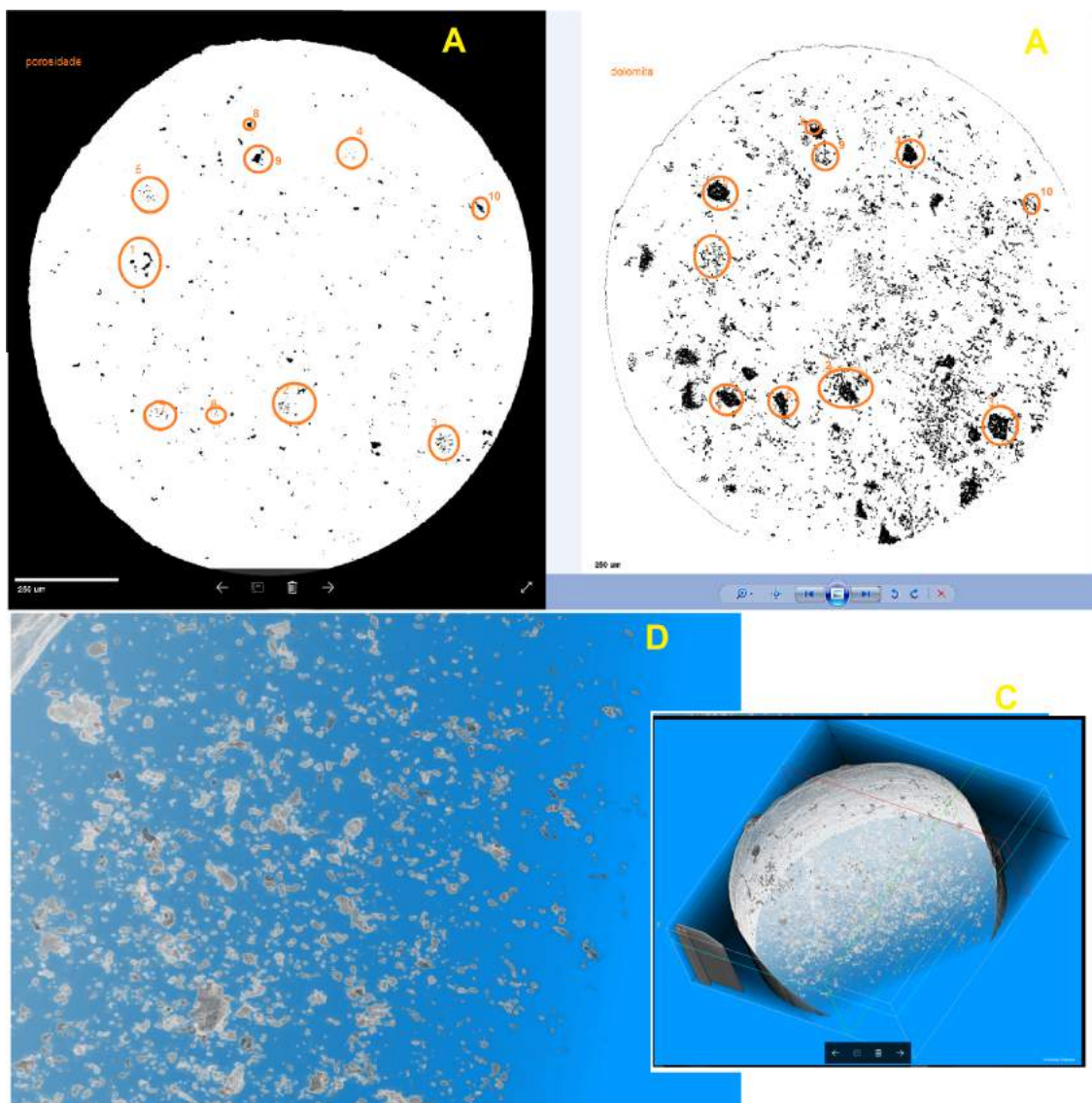
Figura 79 - Fase óxido de ferro na amostra CD10 – EDX



Legenda: Fotomicrografias de MEV com identificação por EDX da fase óxido de ferro (B, F) e das fases minerais associadas. Os óxidos por vezes ocorrem juntos a silicatos de potássio (E, F, I, J, L).

Fonte: A autora, 2018.

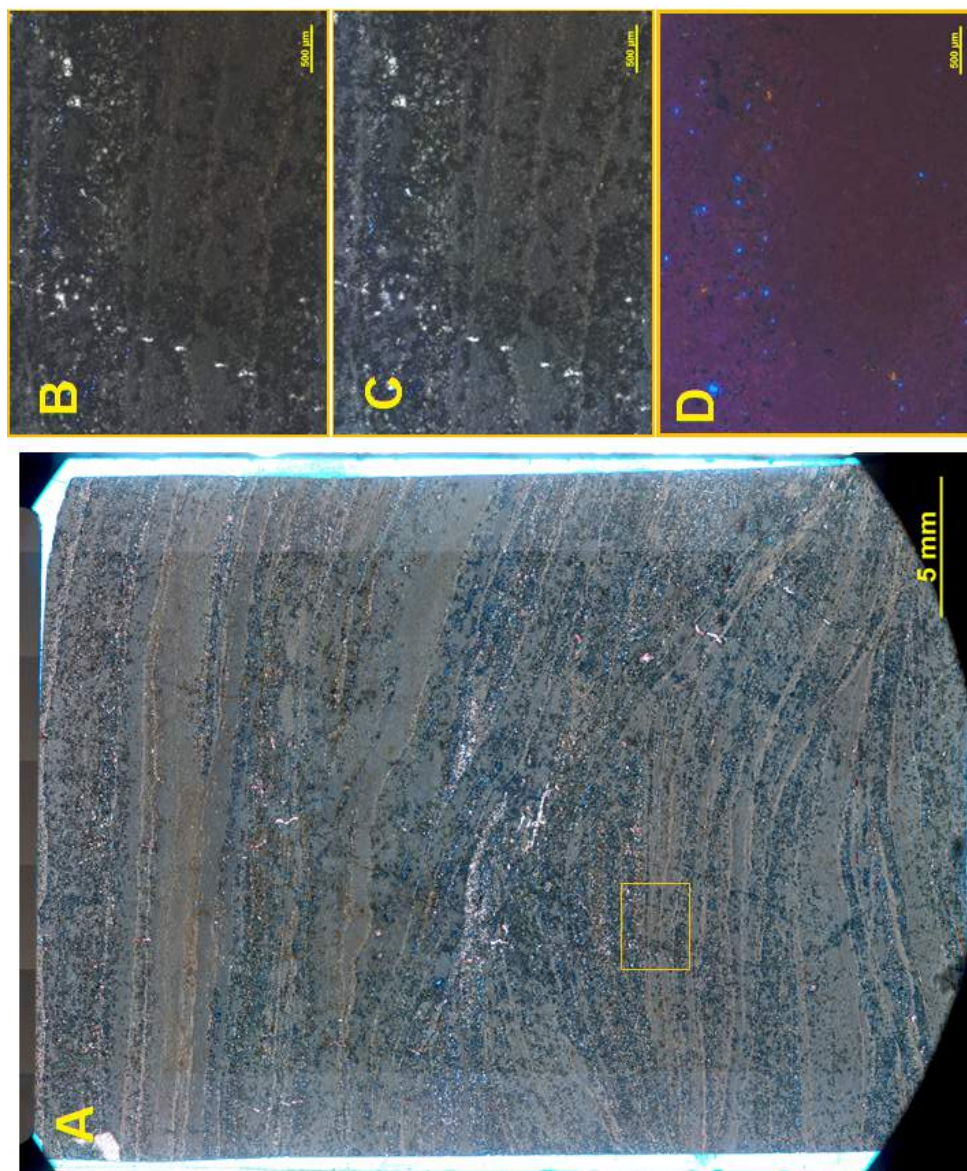
Figura 80 - Microporosidade na amostra CD10 identificada por microtomografia



Legenda: (A) Porosidade (pontos pretos) em uma fatia do cubo de imagens de microtomografia de raios-X; (B) Fase porosidade associada à fase dolomita (pontos brancos no interior da cor preta). Os círculos cor-de-abóbora em A e B destacam poros na fase dolomita. (C-D) Volume com a segmentação da fase “porosidade” por análise microtomográfica de raios-X. Estão representados apenas os poros, que aparecem como pequenos objetos de cor cinza claro na forma de pequenos esferoides isolados, pequenos tubos ou sem forma definida, maiores.

Fonte: A autora, 2018.

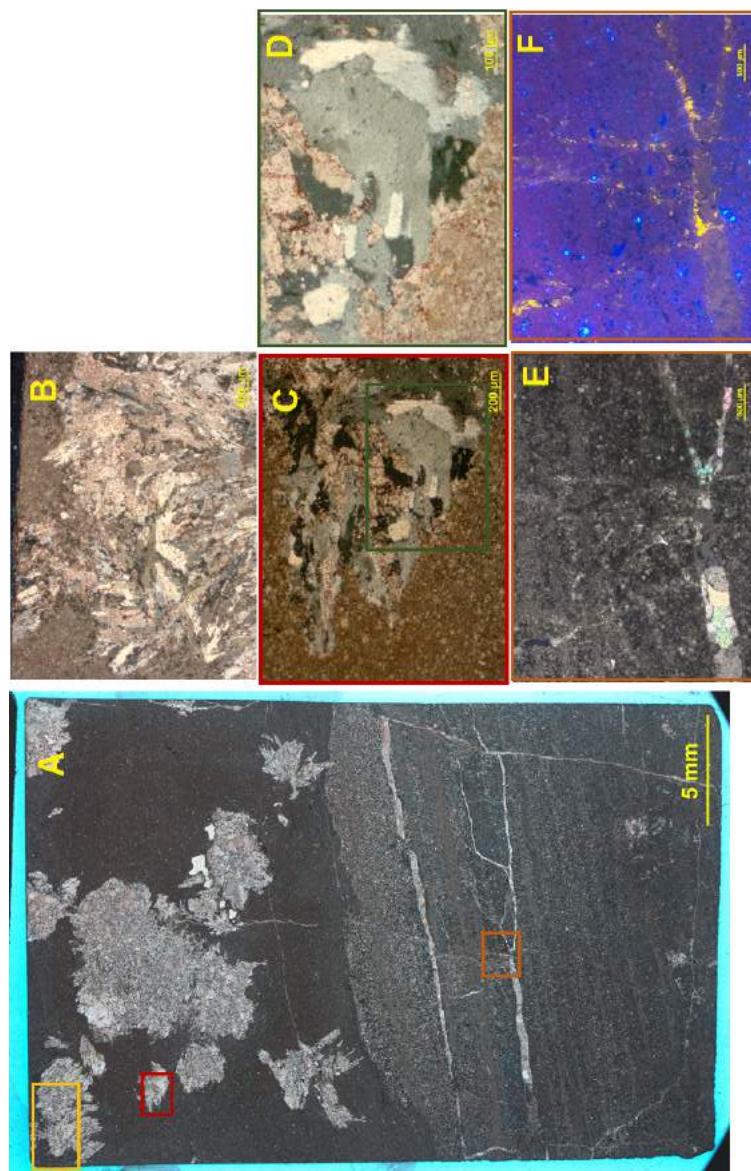
Figura 81 - Fotomicrografias das lâminas delgadas CD11 – Topo do plugue FAR10 – estromatolito



Legenda: (A) Visão geral da lâmina petrográfica CD11; (B-D) Área destacada por retângulo em (A) mostra intercalação de camadas micríticas (parte inferior) e camadas com maior granulometria. Na parte superior, observam-se porosidade intercrystalina e grãos detriticos de feldspatos e quartzo. (B,D) Fotomicrografias com polarizadores paralelos e cruzados, respectivamente. (D) Fotomicrografia com catodoluminescência, evidenciando a dolomitização da amostra.

Fonte: A autora, 2018.

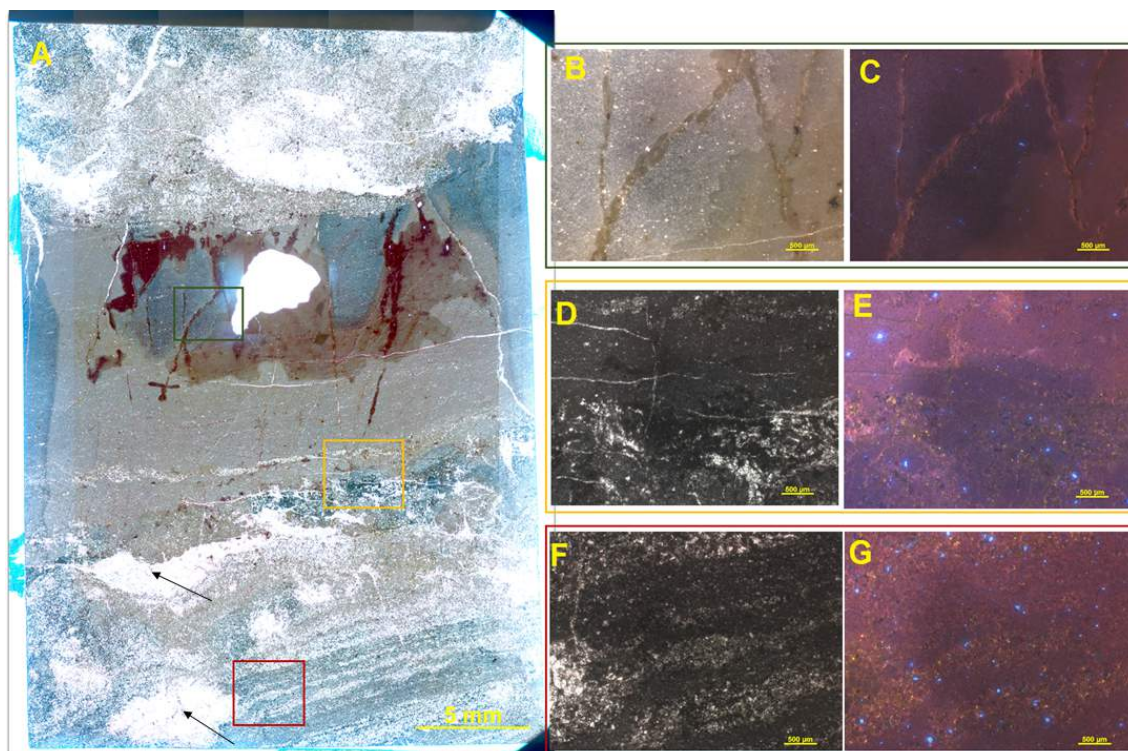
Figura 82 - Fotomicrografias das lâminas delgadas CD12 – parte intermediária do plugue FAR10 – estromatolito



Legenda: (A) Lâmina petrográfica CD12 (com PP); (B,C,E) Áreas destacadas por retângulos amarelo, grená e marron, respectivamente; (B,C,D) Silicificação posterior em porção mudstone acima da textura laminada (na metade inferior); (D) Aumento da área destacada pelo retângulo verde em (C). Ainda é possível ver a origem calcítica após a dolomitização; (E) laminações muito finas cortadas por fraturas; (F) Mesma imagem (E) com catodoluminescência, evidenciando a dolomitização em lâminas alternadas e fases posteriores de fraturamento preenchidas por calcita zoneada, essa evidenciando alternância do potencial redox durante a precipitação. Fotomicrografias B,C,D,E com PX. PP = polarizadores paralelos e PX = polarizadores cruzados.

Fonte: A autora, 2018.

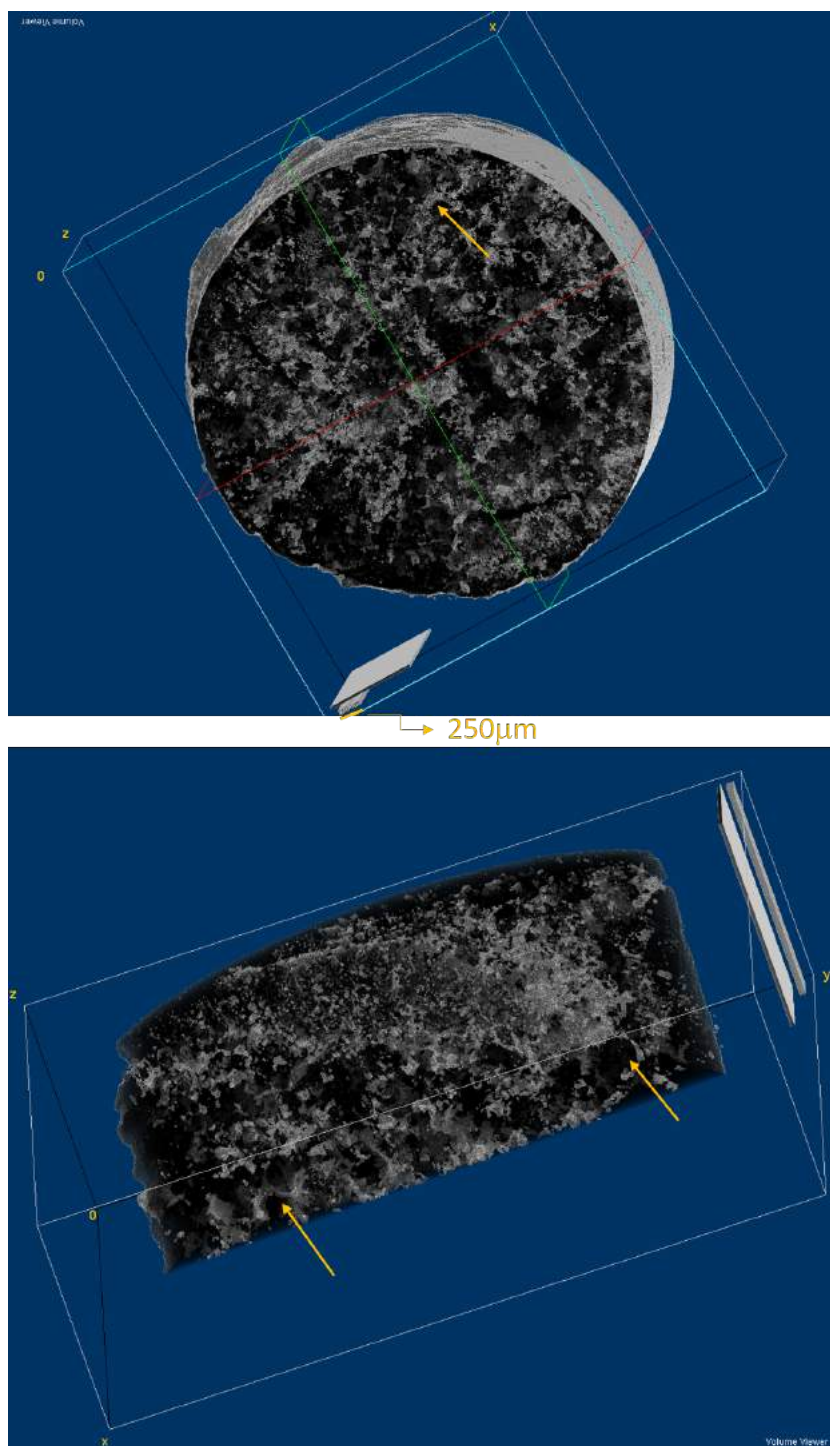
Figura 83 - Fotomicrografias das lâminas delgadas CD13 – parte inferior do plugue FAR10 – estromatolito



Legenda: (A) Visão geral da lâmina petrográfica CD13 tingida com alizarina, mostrando dolomitização e atenuação das laminações nas porções mediana e superior da imagem; (B,C; D,E; F,G) são as áreas destacadas pelos retângulos verde, amarelo e grená, respectivamente; (B-E) Amostra dolomitizada com calcita em fase posterior preenchendo fraturas; (F-G) Parte inferior da amostra ainda revela laminações originais caracterizadas por intercalação de camadas calcíticas e dolomíticas obstruídas por zona de dissolução e precipitação posterior por calcita em ambiente redutor (seta). A,B,D,F com polarizadores paralelos. C,E,G são imagens de catodoluminescência.

Fonte: A autora, 2018.

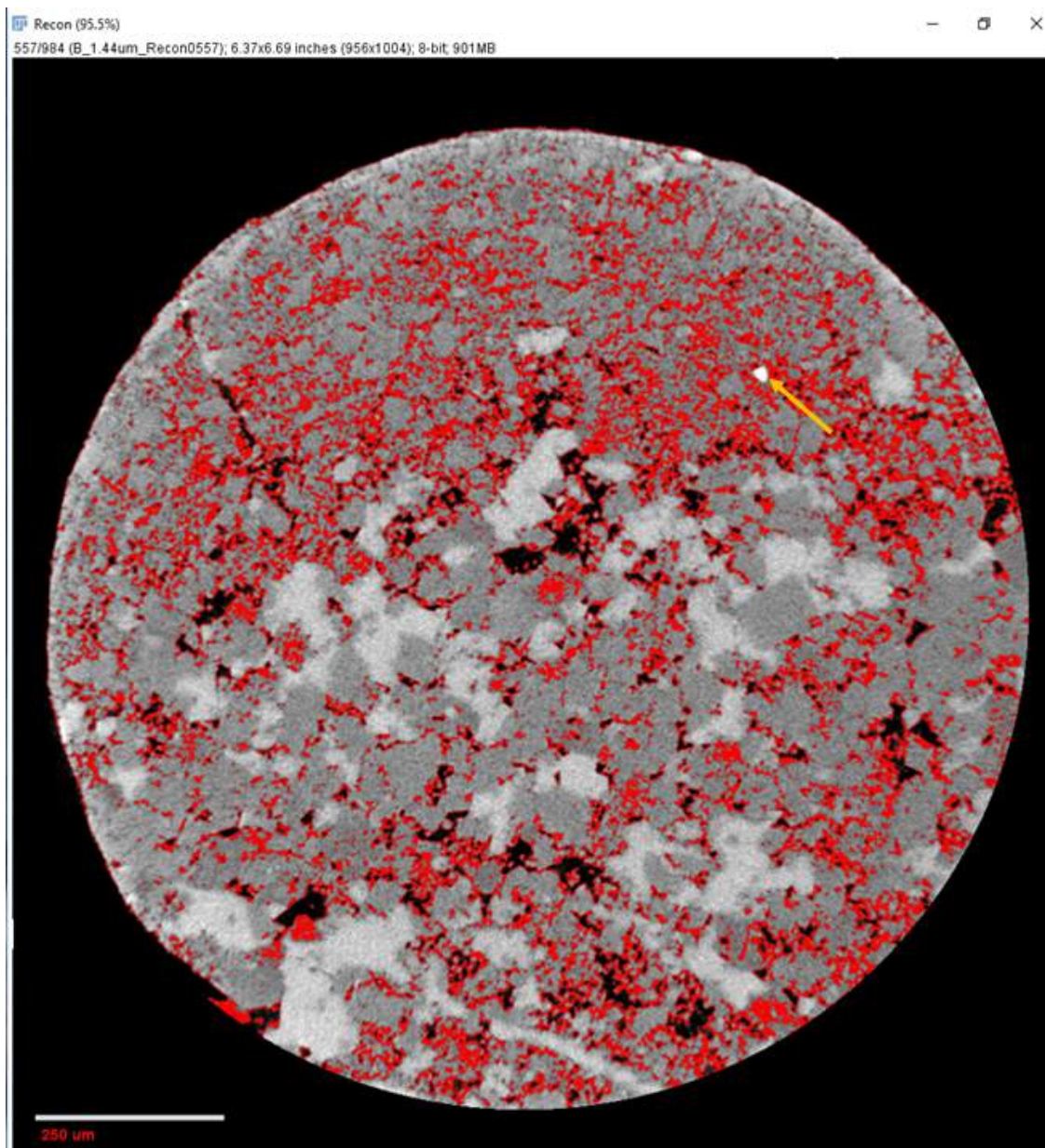
Figura 84 - Microtomografia da amostra CD13 – base do plugue FAR10 –
Fase calcita



Legenda: Volume contendo a fase calcita (cor branca). Observa-se a distribuição desse mineral por vezes em torno de um núcleo, conforme indicado pela seta.

Fonte: A autora, 2018.

Figura 85 - Microtomografia da amostra CD13 – base do plugue FAR10 – Fases dolomita e poros



Legenda: Corte horizontal no volume de imagens obtidos para a dolomita. Exibe-se a fatia 557 (de um volume com 983 imagens). A dolomita está colorida em vermelho, e os pontos pretos representam os poros. A cor cinza claro representa a calcita, o cinza quase branco é o fosfato, e o branco brilhante é a pirita (seta).

Fonte: A autora, 2018.

8.3.2.6 Plugue FAR19 – trombolito

Uma lâmina petrográfica apenas foi feita nesse plugue: CD14. A fácies trombolítica é caracterizada, em microescala, por micropeloides, com cerca de 50 μm de diâmetro em média, esféricos a subsféricos, por vezes aglomerados em meio a matriz espatítica (calcita/dolomita). É uma rocha fechada, e a porosidade ocorre em fraturas (Figura 86). Verificam-se várias zonas de estilólitos com serrilhas de grande amplitude. Essas suturas, decorrentes de dissolução por pressão, são de cor marrom escuro produzida pela concentração de resíduo insolúvel quando da dissolução do calcário quando submetido ao soterramento.

8.3.2.7 Plugue FAR20 – trombolito

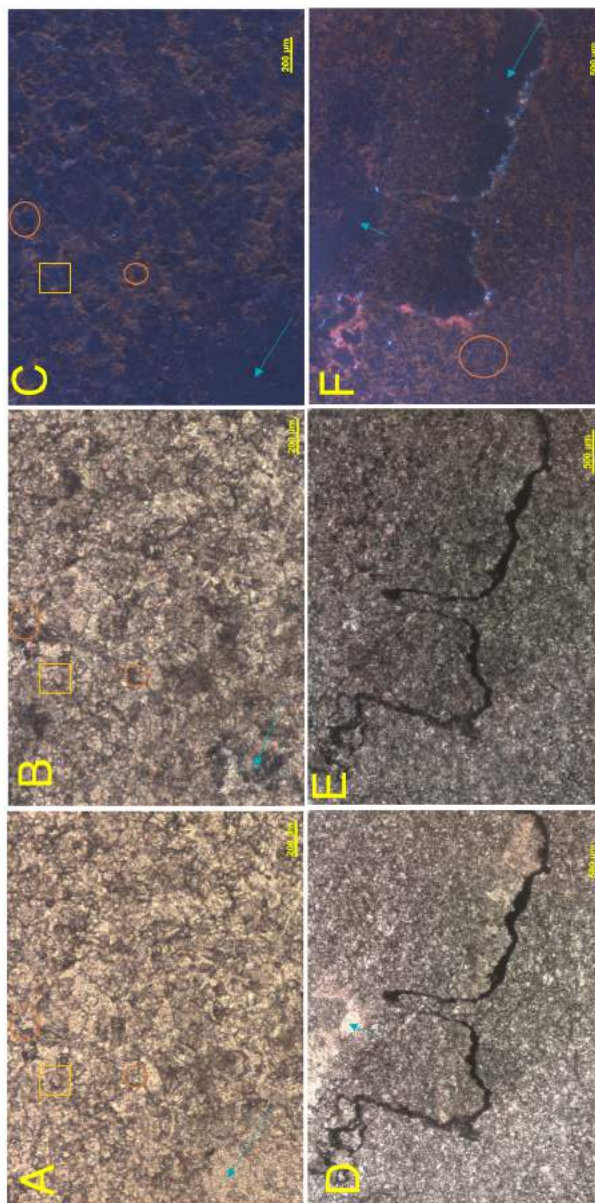
O estudo petrográfico das lâminas CD15, CD16 e CD17, referente ao plugue FAR20, revela que a amostra é constituída por microfácies com grãos bem arredondados de variados tamanhos e formas, em geral substituídos por quartzo. Às vezes, o quartzo encontra-se nas bordas dos objetos, e em outras, no seu interior. Observa-se quartzo microcristalino e cristais bem desenvolvidos formando mosaicos (Figura 87), podendo representar o início e o fim de uma mesma fase de silicificação ou duas fases independentes.

Foi possível identificar na lâmina CD15, em algumas imagens, que os objetos são formados, por vezes, por aglomerados de grãos menores esféricos e também arredondados (Figura 88).

Identificaram-se também intraclastos nas três lâminas, igualmente substituídos por quartzo. A lâmina delgada CD16 possui maior quantidade de elementos intraclásticos, alongadas, silicificados imersos em cimento espatítico (Figura 89).

A lâmina CD17 tem duas microfácies: uma bem quartzosa, com grãos de vários tamanhos e formas variadas, com maior dimensão e mais intraclastos na porção mais superior, e com grãos menores na porção mediana. Esses grãos são compostos por quartzo, semelhante aos das lâminas CD15 e CD16, com cimento calcítico e dolomítico; a outra fácies é constituída por grãos esferoidais a elípticos, micríticos, com granulometria pequena e com cimento calcítico (Figura 90). Essas microfácies são muito parecidas com a encontrada na lâmina CD19, do plugue FAR21.

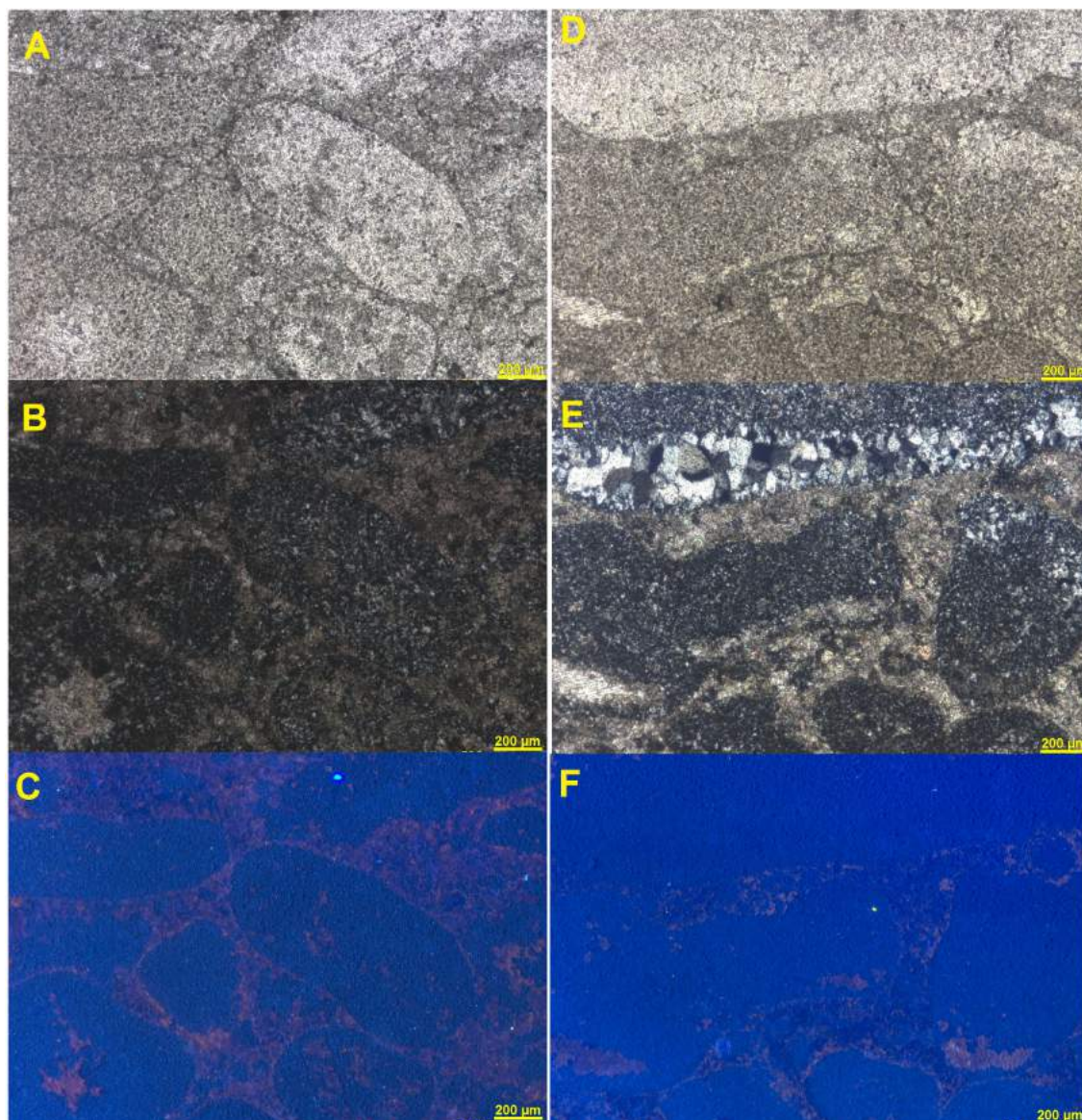
Figura 86 - Lâmina delgada da amostra CD14 – Plugue FAR19



Legenda: (A,B,C) Fotomicrografias sob PP, PX e CL, respectivamente, mostram dolomitas euédricas (quadrado em A e B) que mascaram a textura microgrumosa como evidenciada por CL (círculos em C e F). Setas apontam substituição por quartzo; (D,E,F) Fotomicrografias sob PP, PX e CL mostram estilólitos e zonas de substituição por quartzo (setas). PP = polarizadores paralelos; PX = polarizadores cruzados e CL = catodoluminescência.

Fonte: A autora, 2018.

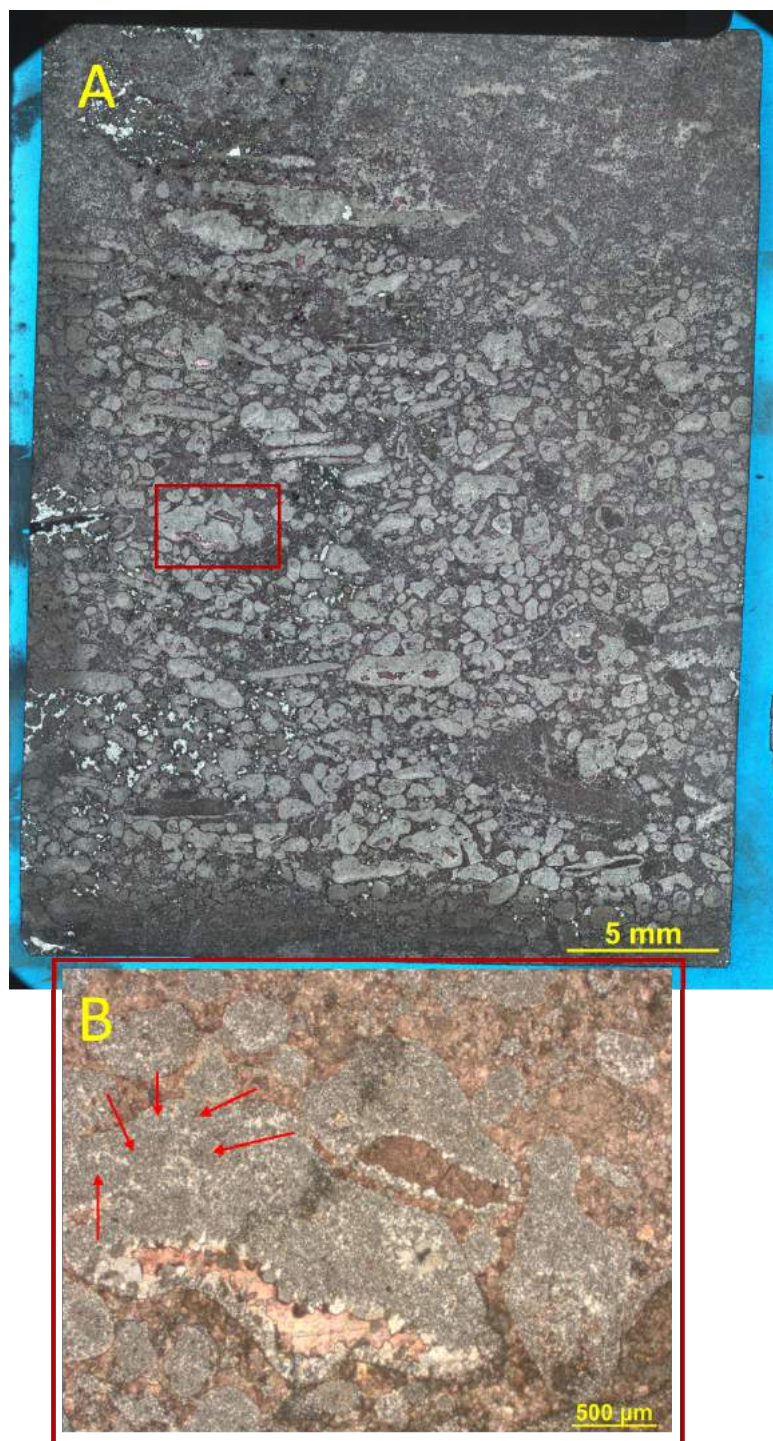
Figura 87 - Identificação dos componentes da lâmina delgada a CD15 – Parte superior do plugue FAR20



Legenda: (A-C) Fotomicrografias com PP, PX e CL, respectivamente, mostrando grãos de diferentes tamanhos e formas, constituídos por quartzo microcristalino e em mosaico; (D-F) Fotomicrografias sob PP, PX e CL exibindo os objetos silicificados com variadas formas e tamanhos. PP = polarizadores paralelos, PX = polarizadores cruzados e CL = catodoluminescência.

Fonte: A autora, 2018.

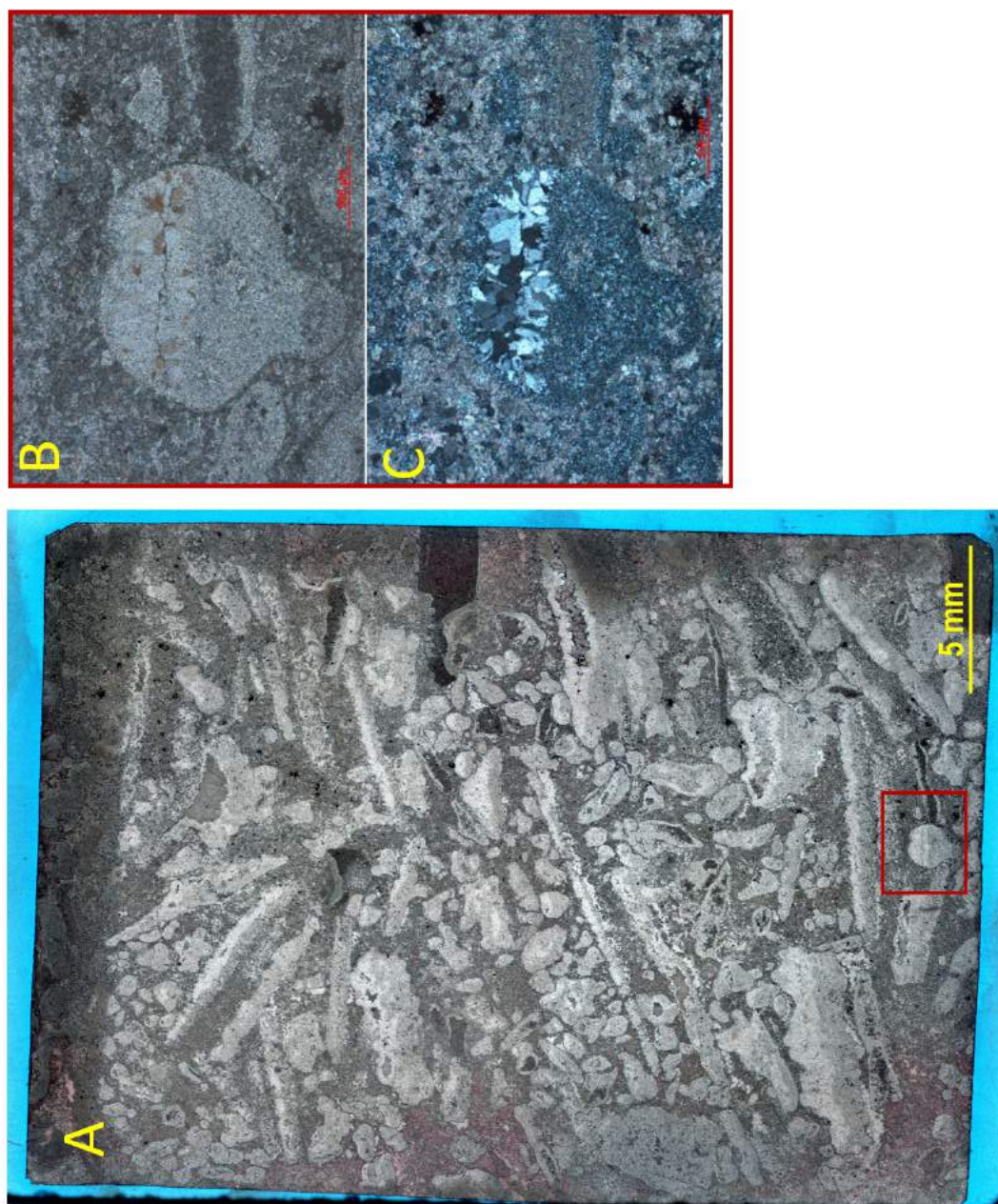
Figura 88 - Lâmina delgada CD15 – Parte superior do plugue FAR20



Legenda: (A) Lâmina delgada CD15 caracterizada por grãos silicificados com variadas formas e tamanhos, bem arredondados; (B) Magnificação da área delimitada por retângulo grená, que destaca grãos arredondados. (A) Sob polarizadores paralelos e (B) Sob polarizadores cruzados. Setas indicam grãos aglutinados que formam o maior.

Fonte: A autora, 2018.

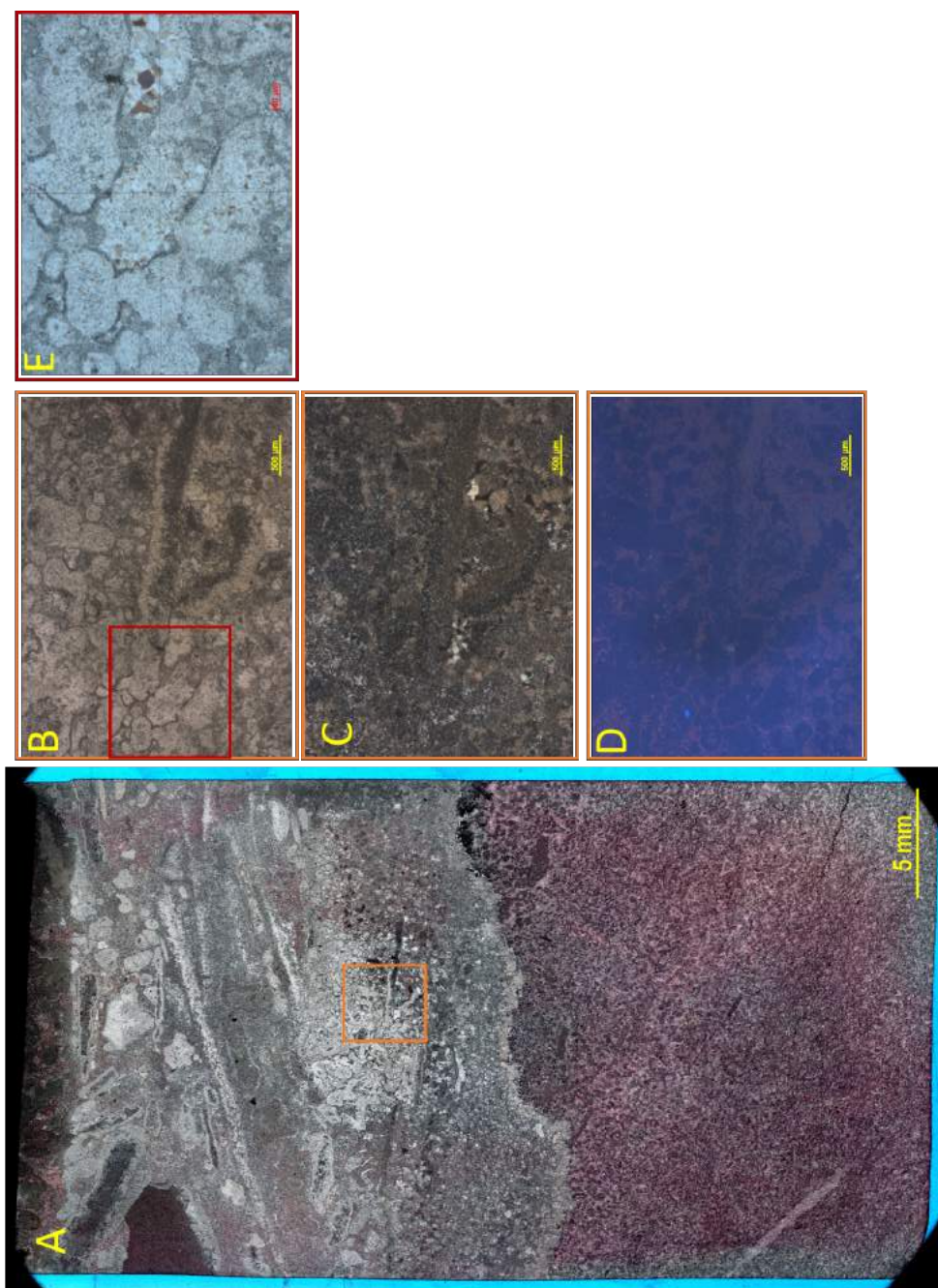
Figura 89 - Lâmina delgada CD16 – Parte intermediária do plugue FAR20



Legenda: (A) Lâmina delgada CD16, caracterizada por intraclastos alongados, em sua maior parte, silicificados, bem como grãos, também silicificados, com diversas formas; (B,C) Magnificação da área delimitada por retângulo grená, que destaca intraclastos alongados e grão constituídos por sílica microcristalina e em mosaico. (A,B) Sob polarizadores paralelos e (C) Sob polarizadores cruzados.

Fonte: A autora, 2018.

Figura 90 - Lâmina delgada CD17 – Parte inferior do plugue FAR20



Legenda: (A) Intraclastos alongados e grãos com diversas formas e tamanhos substituídos por sílica; (B,C,D) Magnificação da área delimitada por retângulo em A com PP, PX e CL, respectivamente, destacando intraclastos alongados e grãos de variadas dimensões, com formas esferoides a elipsoidais; (E) Magnificação da área destacada em B, sob PP, destacando grãos silicificados. PP = polarizadores paralelos; PX = polarizadores cruzados; CL = catodoluminescência.

Fonte: A autora, 2018.

8.3.2.8 Plugue FAR21 – estromatolito

Três lâminas petrográficas feitas no plugue FAR21 mostram uma variedade de microfácies que constituem esse estromatolito/trombolito. Na porção superior do plugue, correspondente à lâmina CD18, observam-se duas microfácies: uma constituída por grãos de vários tamanhos, seguida, na porção inferior, por microfácies cortada por enxame de estilolitos com serrilhas de pequena amplitude que dão aparência de laminações. Estilolitos com serrilhas de grande amplitude aparecem na parte superior da lâmina, colocando em contato essas duas microfácies. Os estilolitos são de cor escura e contêm Minerais opacos são observados dispersos na metade inferior da lâmina. Apesar da diagênese, ainda é possível reconhecer na microfácies caracterizada por pseudolaminações a microestrutura original integrada por micropeloides de cerca de 50 μm (Figura 91).

A microfácies caracterizada por grumos peloidais de tamanhos variados (maiores que 150 μm) parece ser formada pela fusão de micropeloides. Estilolitos com serrilhas de grande amplitude, na parte superior da lâmina delgada, colocam em contato fácies diferentes: uma formada com agrupamento de micropeloides, e outra, sem textura aparente (maciça), cortada por enxame de estilolitos. Uma pequena estrutura circular com menos de 50 μm foi identificada na região da microfácies com grãos esferoides/elipsoidais apresenta no seu centro possivelmente microrganismos calcificados com cerca de 2 μm (Figura 92).

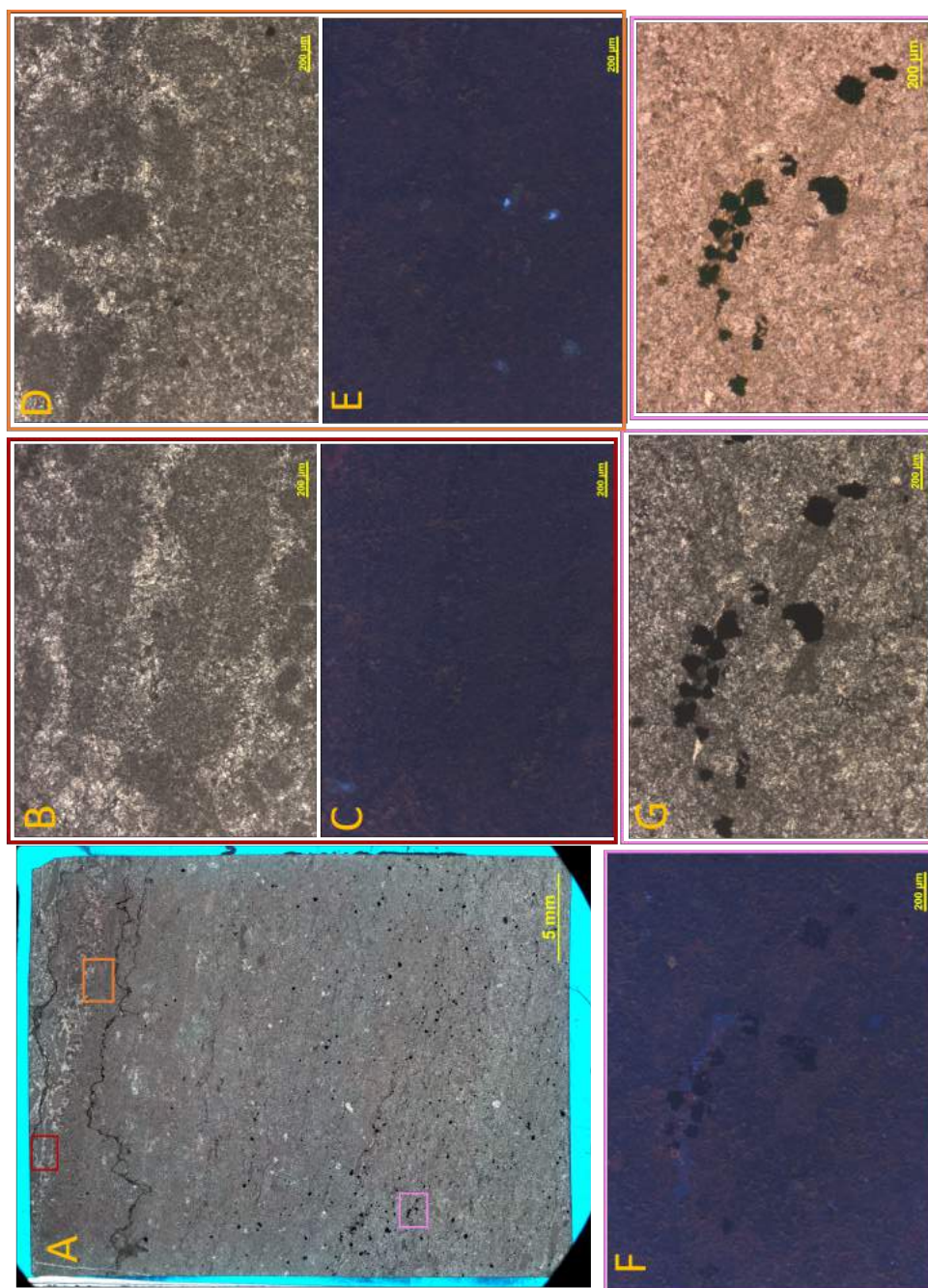
O fragmento de rocha que foi para a análise microtomográfica amostrou principalmente a microfácies quase maciça, caracterizada por pseudolaminações. A Figura 93 apresenta uma fatia do volume de imagens da amostra em que se faz a segmentação das fases minerais que são possíveis de ser identificadas por contraste de densidade traduzido por vários tons de cinza. Observa-se, em vermelho, que a calcita é a principal fase. Salienta-se a incerteza na segmentação das fases minerais em que os tons de cinza são muito próximos, como ocorre entre a dolomita e o quartzo, e entre a calcita e os silicatos, por exemplo. Esse ensaio requer um outro método em que se tenha identificação da composição química da rocha, como MEV.

A lâmina CD19 foi analisada ao microscópio petrográfico. É muito semelhante ao topo do plugue (correspondente à lâmina CD18), tendo, porém, maior concentração de quartzo e fosfatos. Apresenta-se quase afanítica, conforme se vê em lupa binocular. Muitos estilolitos ocorrem tanto nessa amostra quanto na CD18, e muitas vezes fazem crer tratar-se de laminações (Figura 94). A petrografia identifica microfácies com grãos esferoidais a elipsoidais, por vezes completamente fosfatizados, junto a outros grãos, semelhantes na forma, mas completamente micritizados, conforme mostra a Figura 95 D, E e F. Esses grãos possuem contornos arredondados com tamanho maior que 200 μm . Os micritizados parecem ser constituídos por micropeloides, que são em geral esféricos.

Existe uma fase diagenética posterior à sílica que dolomitizou o sedimento (Figura 96).

A lâmina CD20, na base do plugue, representa uma fácies trombolítica, sendo consti-

Figura 91 - Lâmina delgada CD18 – topo do plugue FAR21 – estromatolito



Legenda: (A) Varredura da lâmina. Fácies com aglomerados peloidais acima dos estilolitos (parte superior); (B,C), (D,E), (F,G,H) Magnificações das regiões demarcadas em (A) por retângulo vermelho, cor de abóbora e rosa, respectivamente; (B,D) em PP e (C,E) em CL; (F,G,H) em CL, PP e PP tingida por alizarina. PP = polarizadores paralelos e CL = catodoluminescência.

Fonte: A autora, 2018.